

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УДК 669.017:53

№ госрегистрации 01200960318

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке  
д-р техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_ А.А. Попов

«08» октября 2010 г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ПРОВЕДЕНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АМОРФИЗУЮЩИХСЯ РАСПЛАВОВ  
НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УНИКАЛЬНОЙ  
УСТАНОВКИ: «КОМПЛЕКС УСТАНОВОК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ», «РАСПЛАВ»»

Шифр: 2009-07-1.8-00-03-025

Государственный контракт от 08 июня 2009 г. № 02.518.11.7120

Получение нанокристаллических магнитопроводов нового поколения с повышенной  
магнитной проницаемостью, обобщение и оценка результатов исследований  
(заключительный)

Зам. проректора по научной работе,  
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.

\_\_\_\_\_

С.В. Устелемов

Руководитель темы,  
д-р техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_

В.С. Цепелев

\_\_\_\_\_

Екатеринбург 2010

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, д-р техн. наук, проф.	В.С. Цепелев (введение, разделы 1,7)
Исполнители темы: Гл. науч. сотр., д-р техн. наук, проф.	Б.А. Баум (разделы 1, 2, заключение)
Гл. науч. сотр., д-р техн. наук, проф.	Г.В. Тягунов (разделы 1, 6)
Вед. науч. сотр., д-р. техн. наук	Е.Е. Барышев (раздел 2, 3)
Доц., канд. физ.-мат. наук, доц.	И.В. Вандышева (раздел 3)
Ст. науч. сотр., канд. техн. наук	В.В. Конашков (раздел 5)
Мл. науч.сотр., канд. техн. наук	С.В. Лепихин (раздел 4, 5)
Ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук	О.В. Савин (раздел 6)
Ст. науч. сотр., канд. техн. наук	Л.Г. Савина (раздел 5)
Ст. науч. сотр.	А.М. Силин (раздел 2)
Ст. науч. сотр.	В.В. Вьюхин (раздел 2, 7)
Ассистент, канд. физ.-мат. наук	В.Л. Смирнов (раздел 3)
Ассистент, канд. физ.-мат. наук	Е.С. Конева (раздел 3)
Инженер	А.Н. Филанович (раздел 5)
Инженер	А.И. Подольская (раздел 4)
Студент	А.Д. Малов (раздел 3)
Нормоконтролер:	
Доц., канд. физ.-мат. наук, доц.	А.А. Волкова

## РЕФЕРАТ

Отчет 55 с., 1 ч., 5 рис., 4 табл., 26 источников

МЕТОДИКА, РАСПЛАВ, ПЛОТНОСТЬ, ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ, УДЕЛЬНОЕ  
ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ, АНОМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА,  
РАВНОВЕСНОЕ СОСТОЯНИЕ, ТЕРМОВРЕМЕННАЯ ОБРАБОТКА, ОТЖИГ,  
МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА, КОЛЛЕКТИВНЫЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛИ

Разработана методика измерения плотности гамма-проникающим излучением.

Изучена плотность промышленных сплавов на основе железа в диапазоне температур 1400 - 1800 °С.

Модернизирована установка для измерения удельного электросопротивления.

Оптимизированы режимы отжига полученных аморфных лент, с целью получения нанокристаллических материалов с уникальными магнитными свойствами.

Проведена технико-экономическая оценка результатов.

Предоставлены услуги 7 организациям-заказчикам исследований в рамках центра коллективного пользования.

## СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ .....	5
ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....	6
ВВЕДЕНИЕ .....	7
1 РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ПРЕДЫДУЩИХ ЭТАПАХ РАБОТ.....	10
2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ГАММА- ПРОНИКАЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ .....	12
3 ИЗУЧЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 1400-1800 °С.....	14
3.1 Методика измерения плотности .....	14
3.2 Результаты изучения плотности промышленных сплавов на основе железа ...	18
4 МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ .....	20
5 ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ОТЖИГА ПОЛУЧЕННЫХ АМОРФНЫХ ЛЕНТ, С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С УНИКАЛЬНЫМИ МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ .....	24
6 ПРОВЕДЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ...	27
7 ИНДИКАТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ .....	32
7.1 Оказываемые услуги коллективного пользования .....	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	46
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	49
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Перечень организаций-заказчиков исследований .....	50
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Перечень сертифицированного оборудования .....	51
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Перечень аккредитованных лабораторий .....	53
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Перечень аттестованных методик .....	54
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Перечень закупленного оборудования в рамках госконтракта .....	55

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем отчете о НИР использованы ссылки на следующие стандарты.

1 ГОСТ 7.32 – 2001[1].

2 ГОСТ 8.417-81[2].

3 ГОСТ 7.1 - 84 [3].

4 ГОСТ 7.54 – 88 [4].

5 ГОСТ 7.12 - 93 [5].

6 ГОСТ 7.9 – 95 (ИСО 214 – 76) [6].

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями.

$^{\circ}\text{C}$  – температура в градусах Цельсия.

ТВО – термовременная обработка.

$t_L$  – температура ликвидуса.

$t_{\text{ан}}$  – аномальная температура.

$t_T$  – температура гистерезиса.

$t_k$  – критическая температура.

$\gamma$  – гамма-проникающее излучение.

$\rho$  – удельное электросопротивление.

$\nu$  – кинематическая вязкость.

$d$  – плотность.

$\sigma$  – поверхностное натяжение.

«лужа» расплава – расплав, формирующийся на поверхности вращающегося барабана при аморфизации.

Расплав типа ГМ – класс материалов, производимых НПП «Гаммамет».

$\delta$  – логарифмический декремент затухания.

$\Delta \nu$  – доверительная граница абсолютной погрешности результата измерения кинематической вязкости.

$\Delta \rho$  – доверительная граница абсолютной погрешности результата измерения удельного электросопротивления.

$\Delta \sigma$  – доверительная граница абсолютной погрешности результата измерения поверхностного натяжения.

• - нагрев, о - охлаждение: обозначения точек на политермах физических свойств.

## ВВЕДЕНИЕ

Целью данного этапа работы является разработка методики измерения плотности гамма-проникающим излучением.

Изучена плотность промышленных сплавов на основе железа в диапазоне температур 1400 - 1800 °С.

Модернизирована установка для измерения удельного электросопротивления.

Оптимизированы режимы отжига полученных аморфных лент, с целью получения нанокристаллических материалов с уникальными магнитными свойствами.

Проведена технико-экономическая оценка результатов.

Предоставлены услуги 7 организациям-заказчикам исследований в рамках центра коллективного пользования.

Исследованы физические свойства и структуры металлов вблизи фазового перехода. Получены новые экспериментальные данные о физических свойствах расплавов систем на основе промышленных аморфизирующих расплавов. Результаты применены для совершенствования технологии их выплавки.

Объектом исследования являются аморфизирующие сплавы на основе железа. Такие сплавы используются для получения из них нанокристаллических лент. Это магнитомягкий материал нового поколения, используемый для изготовления магнитопроводов различного назначения.

Любой металл или сплав возможно быстро закалить из жидкого состояния, получив аморфную структуру. Однако в большинстве случаев для этого необходимы скорости охлаждения расплава порядка  $10^6$  °С/с. На практике в промышленных условиях такая скорость охлаждения пока недостижима, однако путем изменения химического состава расплава можно достичь снижения необходимой скорости охлаждения. Кроме того, известно, что расплавы, имеющие большую вязкость, требуют меньшей скорости охлаждения для получения аморфной структуры.

Изучаемое свойство – плотность является важнейшей характеристикой, отражающей раскислительные способности аморфизаторов бора и кремния.

Несмотря на растущее количество экспериментальных и теоретических исследований, посвященных этим проблемам, многие вопросы, связанные с влиянием температуры на строение и свойства жидких металлов, продолжают оставаться дискуссионными. Например, отсутствуют ясные представления о механизме теплового расширения жидких металлов, о взаимосвязи их свойств с характеристиками ближнего порядка. Во многом продолжает оставаться нераскрытым влияние термовременной обработки в жидком состоянии многокомпонентных сплавов на их структуру ближнего порядка вблизи температуры кристаллизации.

Такая ситуация в значительной степени обусловлена тем обстоятельством, что данные по электронным подсистемам физических свойств для большинства жидких металлов получены в узком интервале температур. Кроме того, выполненные подобные исследования, как правило, не сопровождались параллельным изучением различных физических свойств. Что затрудняет анализ взаимосвязи строения жидких сплавов с их свойствами.

Известно, что металлические расплавы, особенно многокомпонентные и слабо перегретые над ликвидусом, представляют собой неравновесные термодинамические системы [7]. При исследованиях поверхностного натяжения таких расплавов, неравновесность может проявляться в виде следующих особенностей:

- нестабильность значений плотности во времени в ходе изотермической выдержки;
- несовпадение кривых нагрева и охлаждения на политермах;
- существенное различие абсолютных значений плотности у сплавов практически одинакового химического состава;
- аномальное возрастание значений плотности с увеличением температуры.

В большинстве случаев, выплавка является обязательной стадией получения различной металлопродукции. Ранее, для многих сплавов, была замечена



взаимосвязь свойств расплава и служебных характеристик твердых образцов полученных из него [8]. Затвердевание из неравновесных состояний расплава приводит к худшим свойствам твердого металла. Повторное плавление таких твердых образцов снова приводит к образованию неравновесного расплава. Таким образом, можно говорить о так называемой металлургической наследственности. Свойства хорошо подготовленного расплава зависят только от его химического состава и внешних условий, но не от предыстории. Его свойства не меняются со временем. Другими словами, расплав должен быть равновесным.

Исследования плотности сплава позволяют определить условия, при которых расплав переходит в состояние равновесия. Эти условия предполагают определенный режим плавки – нагрев расплава до определенной температуры, выдержку и охлаждение до температуры разливки по возможности пониженной. Воздействие на расплав в соответствии с таким режимом называется термовременной обработкой (ТВО). В промышленных условиях чаще всего наиболее приемлемым способом перевода расплава в состояние равновесия является его нагрев до определенной температуры, называемой критической  $t_k$ .

## 1 РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ПРЕДЫДУЩИХ ЭТАПАХ РАБОТ

1. Разработаны методики измерения удельного электросопротивления, рентгеноструктурного анализа и кинематической вязкости.

2. Модернизированы установки для измерения плотности и поверхностного натяжения методом «лежащей капли».

3. Получены новые экспериментальные данные по кинематической вязкости, удельного электросопротивления и поверхностного натяжения промышленных аморфизирующихся расплавов на основе железа в диапазоне температур от 1400 до 1800 °С.

4. Созданы локальная вычислительная сеть для сбора данных при измерении кинетических характеристик расплавов на основе железа, специализированный научный комплекс для автоматизированного управления уникальными установками и расчета получаемых свойств. Создан специализированный научный комплекс для расчета электронных характеристик сплавов на основе железа. Создана автоматизированная система для получения банка данных физических свойств сплавов на основе железа.

5. Исследованы физические свойства и структуры металлов вблизи фазового перехода. Получены новые экспериментальные данные о физических свойствах расплавов систем на основе промышленных аморфизирующихся расплавов. Результаты будут применены для совершенствования технологии их выплавки.

6. Наличие гистерезиса подтверждает начальную неравновесность и неоднородность расплава. Ветвь охлаждения  $\sigma(t)$  соответствует равновесной, гомогенной жидкости. Заметим также, что все исследуемые расплавы обнаруживают склонность к переохлаждению. Общей особенностью для всех сплавов является тот факт, что величина переохлаждения расплава зависит от температуры максимального нагрева образца. Чем выше температура нагрева, тем больше величина переохлаждения.

7. Представлена Программа развития УСУ на 2009-2010 годы.

8. Представлены услуги 18 организациям-заказчикам исследований в рамках центра коллективного пользования.
9. Закуплено необходимое оборудование для обеспечения исследований.
10. Определены оптимальные режимы термовременной обработки расплава.
11. Проведены опытные плавки с использованием режимов ультразвуковой обработки расплава.

## 2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ГАММА-ПРОНИКАЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

В процессе исследования температурных зависимостей физических свойств жидких промышленных и модельных сплавов обнаруживаются особые точки и участки политерм, интерпретируемые как проявления глубоких структурных перестроек [9]. Для аргументации истинности подобных предположений приводятся данные по нескольким физическим свойствам, полученным при идентичных условиях. Для каждого конкретного состава и условий производства исследуемого материала выбираются характеристики, позволяющие достаточно адекватно описать состояние расплава. Одной из наиболее информативных характеристик является плотность.

Модернизация проводилась на установке «Параболоид» [10]. Используемая методика позволяет определять абсолютные значения плотности в жидком и твердом состояниях, коэффициент термического расширения, величину скачка плотности при кристаллизации.

Для уменьшения погрешности и повышения достоверности опытов при получении этого результата расширили возможность метода, изменив схему эксперимента. Используя экспериментально установленный факт неизменности скорости охлаждения, т. е. отвода тепла от системы «тигель с металлом», удобно зафиксировать время кристаллизации. Оно может служить той сравнительной характеристикой, которая зависит от свойств исследуемого материала.

Состояние расплава при нагреве меняется настолько существенно, что сказывается на кинетике затвердевания образца и величине скачка плотности при кристаллизации. Зависимость скорости затвердевания от температуры имеет экстремум.

Совместно с российско-германским предприятием «Зайферт-Рентген & К<sup>о</sup>» и ООО «Юкона» автоматизирована система управления установкой для измерения плотности методом проникающего гамма-излучения. Создан оригинальный

уникальный сцинтилляционный детектор SC-03 производства «Зайферт-Рентген & К<sup>о</sup>».

Управление и контроль за экспериментом осуществляется через управляющую программу «X-ray pro» на компьютере Pentium V, соединенным через сетевую карту с блоком управления.

Программа «X-ray pro» работает в среде WINDOWS`2007 и позволяет производить следующие функции:

- подбор нужного высоковольтного напряжения на детекторе;
- настройка одноканального анализатора;
- выбирается рабочее напряжение детектора в рекомендуемом диапазоне;
- устанавливается минимальная ширина окна дискриминатора и регистрируется зависимость интенсивности гамма-излучения от амплитуды импульсов.

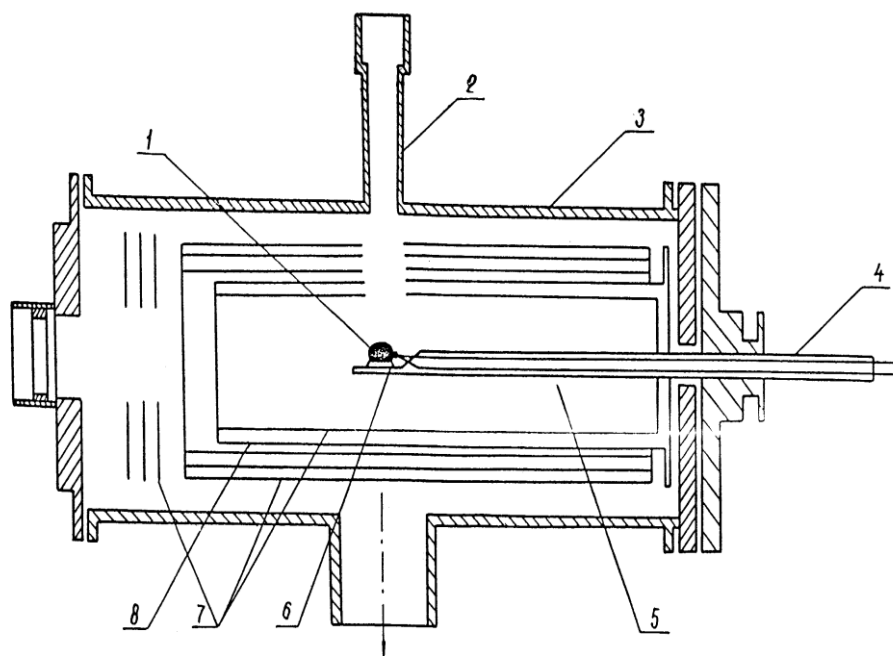
На основе полученной зависимости выбирается рабочая ширина окна и пороговое значение уровня дискриминации.

Обработка серии экспериментальных данных показала, что доверительная граница относительной погрешности измерения плотности составляет 0,1 %.

### 3 ИЗУЧЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 1400-1800 °С

#### 3.1 Методика измерения плотности

Для проведения исследований была использована экспериментальная установка горизонтального типа, схема которой представлена в соответствии с рисунком 3.1. Металлический корпус печи (3) закреплен на специальной подставке. Внутри него размещен молибденовый нагреватель (8) с системой экранов. Шток (4) с молибденовым наконечником (5) вводится в печь через вакуумный ввод (2) для дозатора и активометра. Капля металла (1) формируется на наконечнике. Экраны (7) и керамическая подложка (6) обеспечивают защиту и стабильность процесса.



1- капля металла, 2 - вакуумный ввод для дозатора и активометра, 3 - корпус печи, 4 - шток, 5 - молибденовый наконечник, 6 - керамическая подложка, 7 - экраны, 8 - молибденовый нагреватель

Рисунок 3.1 - Схема вакуумной установки для измерения плотности жидких металлов методом «лежащей капли».

Один из торцевых фланцев имеет окно, защищённое просветлённым стеклом для получения изображения капли металла на экране оптической системы. Через другой фланец в пространство печи рабочей камеры вводится шток (4),

оканчивающийся молибденовым стержнем (5) с горизонтальной площадкой для установки подложки (6) с исследуемым образцом (1).

Требование к строгой симметричности капли металла обуславливает необходимость горизонтального расположения подложки с металлом, которая достигается с помощью специальных стержней и поворотом штока.

Горизонтальность подложки вдоль оптической оси проверяется до опыта с помощью нуль-уровня, а перпендикулярность - с помощью вертикального отвеса, спроецированного на экран оптической системы.

Максимальная рабочая температура нагревателя составляет 1850 °С.

Необходимая температура в рабочей зоне печи задаётся с помощью высокоточного регулятора температуры (BPT-2) и измеряется вольфрам-рениевой термопарой BP5/20, расположенной под подложкой.

Вследствие относительно небольших размеров исследуемого объекта, порядка 1 см<sup>3</sup>, и равномерности температуры в зоне размещения металла температурный градиент по сечению капли отсутствует.

Вакуум в печи создается форвакуумным и диффузионным насосами, которые обеспечивают разрежение в объёме печи до 10<sup>-2</sup> Па.

Для предохранения попадания паров масла из диффузионного насоса в атмосферу рабочей камеры, последняя отсечена от насоса специальной ловушкой из набора медных дисков.

Каплю металла проецировали на матовое стекло, размещённое на специальном подвижном столике. С помощью двух высокоточных датчиков измеряли необходимые параметры капли металла и по ним вычисляли плотность жидкого металла. Измерение размеров капли металла непосредственно на экране оптической системы позволило повысить точность эксперимента и обеспечить экспрессность данного метода определения  $d$ .

Расчёт плотности проводили по данным о массе ( $M$ ), форме, объёме ( $V$ ) и площади капли. Для этого по изображению капли на матовом экране определяли диаметр капли ( $2L$ ), высоту от экватора до вершины капли ( $H$ ), высоту от экватора до уровня подложки ( $h$ ) и угол смачивания ( $\theta$ ) в соответствии с рисунком 3.2.

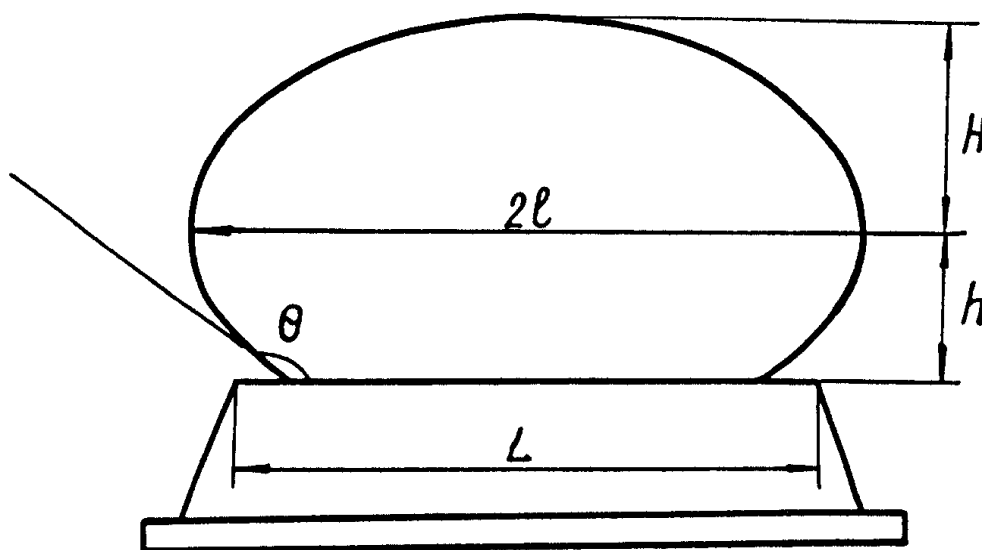


Рисунок 3.2 - Схема обмера изображения капли для расчёта её поверхностного натяжения.

Объём жидких капель, используемый для расчёта плотности находили по формулам и графикам, приведённым в работе [11]:

$$d = \frac{M}{\pi L^2 (H + h - \frac{H^3 + h^3}{2H^2}) + V_n}. \quad (3.1)$$

Поверхностное натяжение рассчитывали по графикам [12] и таблицам [13]. При расчёте по графикам использовали формулу:

$$\sigma = \frac{\Delta d g}{a}, \quad (3.2)$$

где  $\Delta d$  - разность плотностей металлической и газовой фаз;

$g$  - ускорение силы тяжести;

$a$  - величина, зависящая от  $L$  и  $H$ .

При расчёте поверхностного натяжения по таблицам пользовались выражением:

$$\sigma = (2L)^2 F^{-1} \Delta d g, \quad (3.3)$$

де  $F$  - безразмерная функция величины  $L / H$ , определяемая по таблице [13].



Общий вид установки для измерения поверхностного натяжения и плотности приведен на рисунке 3.3.

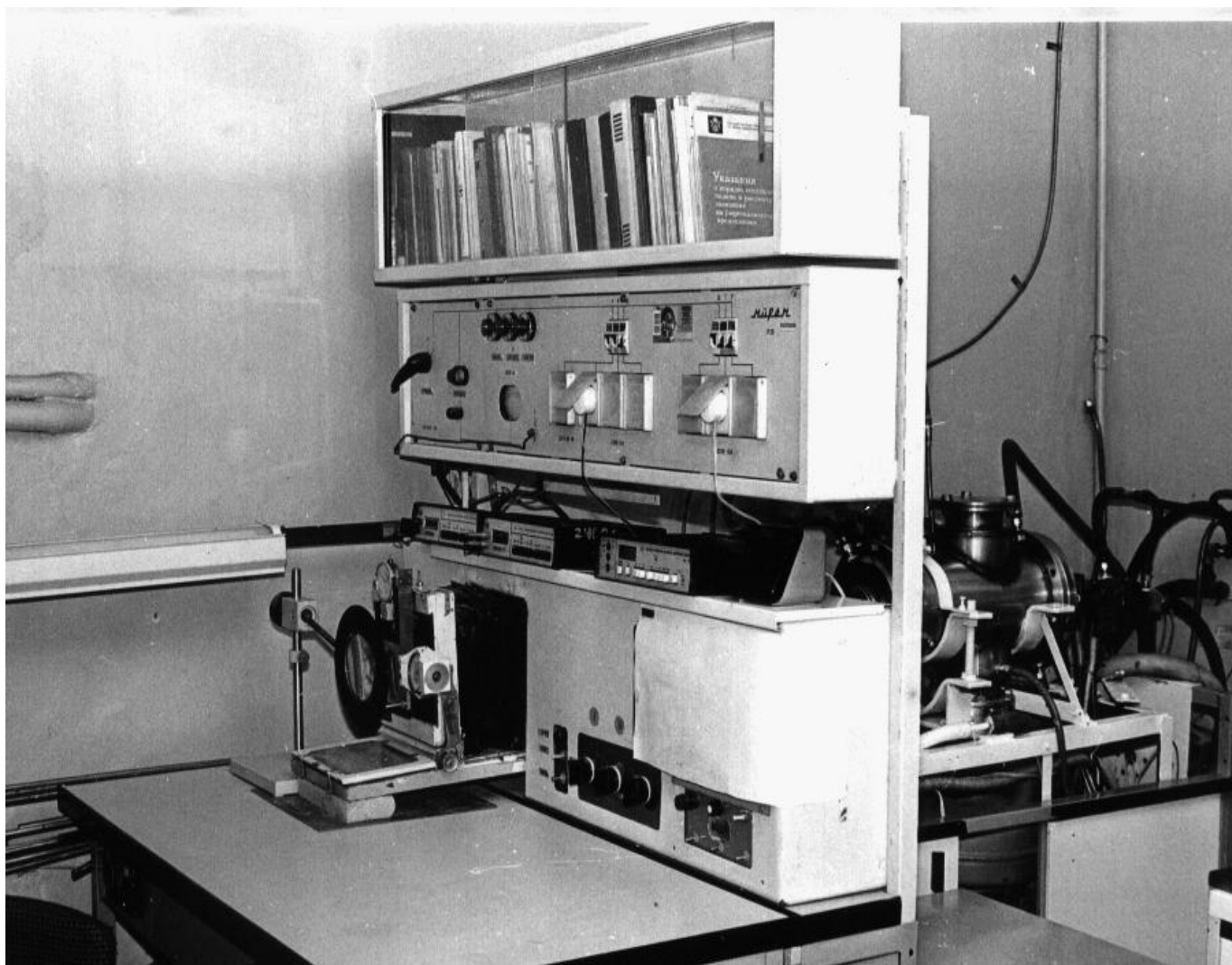


Рисунок 3.3- Общий вид установки для измерения плотности и поверхностного натяжения методом «лежащей капли».

Модернизация установки заключалась в использовании видеокамеры, сопряженной с компьютером, что позволяет с помощью специального пакета программ запоминать и обрабатывать цифровое изображение расплавленной капли. В настоящее время ведется отладка оборудования. Расчёты доверительных границ относительных и абсолютных погрешностей величин плотности и поверхностного натяжения расплавов, а также доверительных границ относительных и абсолютных

погрешностей температурных зависимостей этих свойств выполнены по методике, аналогичной для расчета кинематической вязкости:

$$\begin{aligned} \gamma_d &= 1\%, & \gamma_{dt} &= 0,7\%, & \gamma_\sigma &= 3\%, & \gamma_{\sigma t} &= 1,0\%, \\ \Delta d &= 0,07 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, & \Delta d_t &= 0,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, & \Delta \sigma &= 45 \text{ мДж/м}^2, & \Delta \sigma_t &= 15 \text{ мДж/м}^2, \\ d &= (7,00 \pm 0,07) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, & \sigma &= (1500 \pm 45) \text{ мДж/м}^2, \\ dt &= (7,00 \pm 0,05) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, & \sigma_t &= (1500 \pm 15) \text{ мДж/м}^2 \\ \text{при } P &= 0,95. \end{aligned}$$

### 3.2 Результаты изучения плотности промышленных сплавов на основе железа

Температурные зависимости  $d(t)$  совпадают при нагреве и охлаждении (в пределах погрешности) и имеют линейный вид. Экспериментальные точки не приведены, поскольку никаких особенностей функций  $d(t)$ , не выявляется.

Температурные зависимости поверхностного натяжения  $\sigma(t)$  линейны, никаких перегибов или особых точек они не обнаруживают.

Следует отметить, что значения поверхностного натяжения разных сплавов заметно различаются. Это связано, как установлено многочисленными исследованиями других авторов, с различным содержанием в образцах поверхностно-активных примесей: кислорода, серы и др.

Все другие политермы имеют гистерезис (несовпадение ветвей нагрева и охлаждения). Это указывает на протекание в ходе нагрева процессов распада неравновесных атомных ассоциаций и областей ближнего порядка, унаследованных от фазовых составляющих исходных материалов. Формирование однородного равновесного расплава завершается вблизи температуры  $t_k$ .

Значения температур начала гистерезиса  $t_r$  и критических  $t_k$  приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Значения физических свойств жидких аморфизирующих сплавов типа Finemet

t, °C	$\nu \cdot 10^7$ , м <sup>2</sup> /с		$\rho \cdot 10^8$ , Ом·м		d, кг/м <sup>3</sup>	$\sigma$ , мДж/м <sup>2</sup>
	нагрев	охл-ние	нагрев	охл-ние		
1100	15,2	17,5	125,3	131,4	7,00	1300
1200	13,4	15,1	126,9	131,7	6,94	1260
1300	11,3	12,2	129,5	132,3	6,88	1220
1400	9,4	10,0	133,0	133,6	6,82	1180
1500	8,0	8,0	136,3	136,3	6,76	1140

ГМ 503

1100	16,0	17,5	121,9	127,7	7,10	1230
1200	13,2	14,8	122,0	127,7	7,03	1230
1300	10,5	12,2	125,0	128,8	6,96	1230
1400	9,7	9,7	129,8	130,8	6,89	1230
1500	7,5	7,5	134,8	134,8	6,82	1230

ГМ 515

1100	15,9	17,3	117,5	117,5	7,46	910
1200	13,0	14,5	118,6	118,6	7,39	960
1300	10,4	10,8	119,9	119,9	7,32	1010
1400	8,4	8,4	120,5	120,5	7,25	1060
1500	7,3	7,3	121,9	121,9	7,18	1110

ГМ 412

1100	-	-	134,8	149,9	6,78	1090
1200	14,9	18,3	144,7	148,8	6,73	1070
1500	9,3	9,3	152,5	152,5	6,58	1010
1600	8,2	8,2	153,6	153,6	-	-

ГМ 414

1100	-	-	134,5	143,1	6,71	1200
1200	16,4	17,7	137,0	144,1	6,65	1190
1300	14,2	15,4	140,5	144,5	6,59	1180
1400	11,7	12,7	144,2	145,9	6,53	1170
1500	9,6	10,1	147,5	147,5	6,47	1160
1600	8,6	8,6	147,6	147,6	-	-

#### 4 МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ

При высокотемпературных измерениях электросопротивления металлов широко известные контактные методы могут служить источником загрязнения объектов исследования. В этих случаях индукционные способы оказываются более предпочтительными.

Подробное описание бесконтактных измерений электросопротивления имеется в работах [14, 15]. Наибольшее распространение из них получил так называемый «метод вращающегося магнитного поля», который впервые был предложен Браунбеком [16], а до расчётных формул доведён в работах А.Р. Регеля [17, 18]. При одинаковой абсолютной величине вращающегося магнитного поля электросопротивление описывается выражением:

$$\rho = K \frac{V^{5/3}}{\varphi}, \quad (4.1)$$

где  $K = \rho_{\text{эт}} \cdot \varphi_{\text{эт}} / V_{\text{эт}}^{5/3}$  - градуировочный коэффициент;

$\rho_{\text{эт}}$  - электросопротивление эталонного образца;

$\varphi$  и  $\varphi_{\text{эт}}$  - угол поворота подвесной системы с исследуемым и эталонным образцом соответственно относительно исходного положения;

$V$  и  $V_{\text{эт}}$  - объём исследуемого и эталонного образца соответственно.

Наиболее надёжные результаты получаются в случае одинаковых размеров и формы градуировочного и исследуемого образца.

При измерении электросопротивления расплава в принципе необходимо учитывать его вязкость [19]. Однако движением жидкости металла в поле можно пренебречь, если мал МГД-критерий Гартмана ( $H_a \ll 1$ ). Если критерий Гартмана не выполняется, то необходимо вводить соответствующие поправки. Выполненные расчёты для сплавов на основе 3d - переходных металлов показали, что  $H_a = 0,02-0,03$ . Поэтому согласно [17] влиянием вязкости расплава на угол закручивания образца можно пренебречь.

Аналитическое выражение вращающегося момента  $M$ , действующего на тигель с расплавом, точно известно только для сферических образцов и пропорционально объёму в степени  $5/3$ . Л.В. Говорухину удалось установить, что для цилиндрических образцов с отношением высоты к радиусу равным двум, объём ( $V$ ) в выражении (4.1) должен находиться в степени  $1,76$  [19].

В связи с этим основная расчётная формула приобретает вид:

$$\rho = \rho_{\varepsilon} \left( \frac{M \cdot d_{\varepsilon}}{M_{\varepsilon} \cdot d} \right)^{1,76} \cdot \left( \frac{\varphi_{\varepsilon}}{J_{\varepsilon}^2} / \frac{\varphi}{J^2} \right), \quad (4.2)$$

где  $\rho$ ,  $M$ ,  $d$  - соответственно электросопротивление, масса и плотность исследуемого образца, а  $\varphi$  и  $J$  - угол закручивания подвесной системы и сила тока в статоре при измерении  $\rho$  исследуемого образца.

Конструкция вакуумной камеры и система нагрева во многом схожи с установкой по измерению вязкости. Вращающееся магнитное поле создаётся системой катушек, состоящей из трёх пар обмоток, расположенных под углом  $120^\circ$  и соединённых треугольником. Питание такого «статора» осуществляется от сети переменного тока напряжением 380 В. Для того, чтобы погасить колебания напряжения электрической сети, в цепь питания включены три электронных стабилизатора.

Величина магнитного поля в зоне изучаемого образца регистрировалась в основном по току статора. Другой способ состоял в том, что на чехле термопары закреплялась катушка, изготовленная из вольфрамовой проволоки - датчик поля. Вращающееся магнитное поле, пересекая витки этой катушки, индуцирует в ней переменную ЭДС, величина которой пропорциональна величине поля, фиксируется цифровым милливольтметром переменного тока типа В7-38 и может быть использована для расчёта абсолютной величины индукции магнитного поля.

В соответствии с выражением (4.2) доверительная граница относительной погрешности измерения электросопротивления ( $\gamma$ ) может быть вычислена по уравнению:

$$\gamma = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \rho_{\text{э}}}{\rho_{\text{э}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \left(\frac{\varphi_{\text{э}}}{J_{\text{э}}^2}\right)}{\frac{\varphi_{\text{э}}}{J_{\text{э}}^2}}\right)^2 + \left(1,76 \frac{\Delta M_{\text{э}}}{M_{\text{э}}}\right)^2 + \left(1,76 \frac{\Delta d_{\text{э}}}{d_{\text{э}}}\right)^2 + \left(1,76 \frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(1,76 \frac{\Delta M}{M}\right)^2}. \quad (4.3)$$

В качестве эталонного образца использовался зонно-очищенный вольфрам, электросопротивление которого описывается зависимостью [17]:

$$\rho_{\text{w}} = 938,4 \text{ Т} - 6,004 + 0,279 \text{ Т} + 1,834 \cdot 10^{-6}, \quad (4.4)$$

где Т - температура в К.

Среднее отклонение от этого закона составляет 0,11%, а максимальная ошибка в определении  $\rho_{\text{w}}$  в интервале температур от 1000 до 1800 °С не превышает 0,8 %.

Общий вид установки приведен на рисунке 4.1.

Результаты вычислений границ погрешности измерения составляющих расчётной формулы (4.3) приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 Результаты вычислений границ погрешности

Измеряемые величины	$\rho_{\text{эт}},$ ом·см	$M_{\text{эт}},$ г	$d_{\text{эт}},$ г/см <sup>3</sup>	$M,$ г	$d,$ г/см <sup>3</sup>	$\frac{\varphi_{\text{эт}}}{J_{\text{эт}}^2}$	$\frac{\varphi}{J^2}$
$\tilde{A} \pm \Delta$ при P=0,95	50,34 ±0,06	4,9934 ±0,0001	18,964 ±0,002	2,0248 ±0,001	7,00 ±0,07	0,812 ±0,008	0,252 ±0,004

Погрешность определения величины  $\varphi / J^2$  зависит от точности измерения отброса светового луча на шкале ( $\varphi$ ) и точности определения силы тока (J) в обмотках статора. Разделить эти две величины не представляется возможным. т. к.  $\varphi$  нелинейно зависит от J.

Выполненные расчёты доверительных границ относительной погрешности показали, что при P = 0,95  $\gamma_{\rho} = 2,5 \%$ , если  $\gamma_d = 1 \%$  и  $\gamma_{\rho} = 1,5 \%$ , когда  $\gamma_d = 0,3 \%$ . Соответственно доверительные границы относительной погрешности температурной зависимости электросопротивления составляют

$$\gamma_{\rho} = 0,3 \% \quad \text{и} \quad \gamma_{\rho t} = 0,1 \%.$$

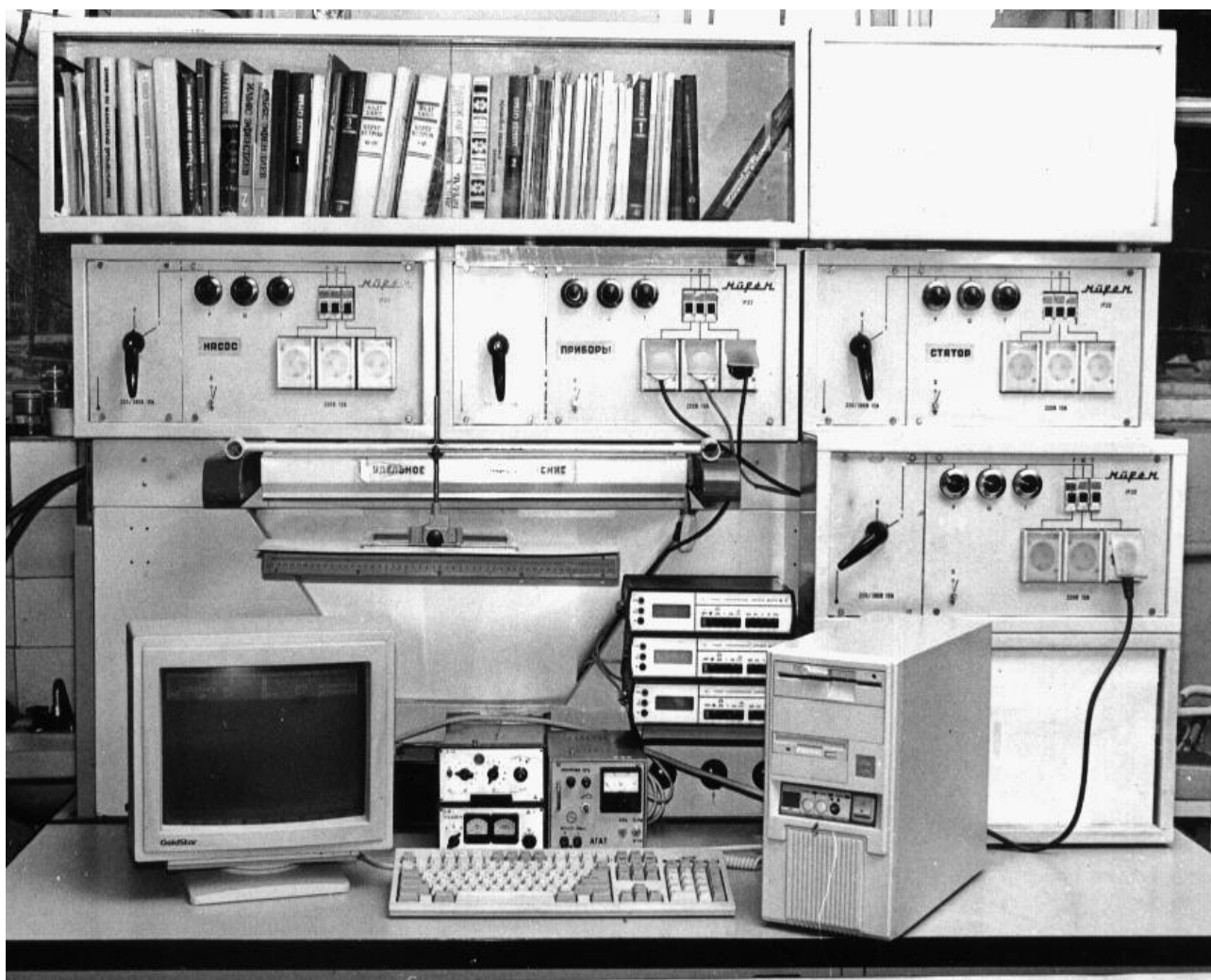


Рисунок 4.1- Общий вид установки для измерения удельного электросопротивления расплавов.

## 5 ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ОТЖИГА ПОЛУЧЕННЫХ АМОРФНЫХ ЛЕНТ, С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С УНИКАЛЬНЫМИ МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Цель работы состояла в определении температур фазовых и структурных переходов аморфной ленты из сплава ГМ 414. Химический состав приведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 Химический состав исследованного сплава ГМ 414 плавка 260029

сплав	Fe	B	Si	Mo	Nb	Cu	Co	Ni
ГМ 414	осн.	1,80	8,00	3,00	3,50	1,33	0,40	0,57

Определение температур переходов производили посредством дифференциального термического анализа (ДТА) на установке ВДТА-8МЗ [20]. ДТА проводили при нагреве и последующем охлаждении со скоростями 20, 40 и 80 °С/мин. Для получения температур переходов, соответствующих равновесным, производилась экстраполяция полученных результатов на скорость 0 °С/мин. Точность определения температуры составляет  $\pm 3$  °С.

При нагреве на кривых ДТА в твердом состоянии зафиксировано два экзотермических тепловых эффекта (рисунок 5.1). Следовательно, при непрерывном нагреве переход из аморфного состояния в кристаллическое наиболее интенсивно протекает в двух температурных интервалах. Большее количество вещества переходит в кристаллическое состояние в первом температурном интервале, об этом свидетельствуют площади тепловых эффектов. Первый интервал кристаллизации составил 510...549 °С, второй – 648...685 °С.

Наилучшие магнитные свойства получают при отжиге в первом температурном интервале. Определяющим является установление конкретной температуры отжига, при которой возникает аморфно-нанокристаллическое состояние с содержанием примерно 40 % кристаллической фазы и размерами кристаллитов не превышающими 10...15 нм [21].



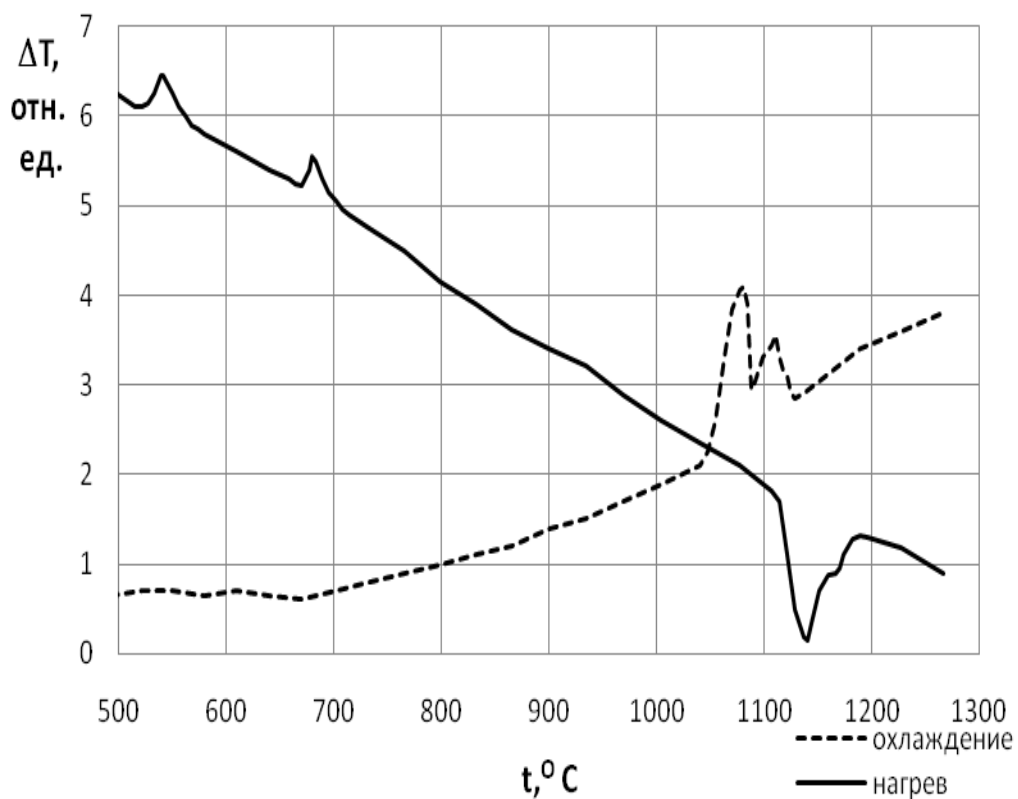


Рисунок 5.1- Кривые ДТА аморфной ленты сплава ГМ 414

Плавнение и кристаллизация происходят в два этапа. Равновесные температуры солидус и ликвидус составляют 1084 и 1157 °C, соответственно.

Методом дифференциального термического анализа (ДТА) исследована аморфная лента сплава ГМ 414:

- определены интервалы кристаллизации. Кристаллизация происходит в два этапа: первый - 510...549 °C, второй – 648...685 °C.

- определены равновесные температуры солидус  $t_s = 1084$  °C, ликвидус  $t_s = 1157$  °C.

На основании изучения интервалов кристаллизации первого пика определены оптимальные температуры отжига аморфных лент: 532-542 °C. Физические свойства полученных нанокристаллических магнитопроводов приведены в таблице 5.2. Получена максимальная относительная магнитная проницаемость  $\mu_{\max}$  образцов, нагретых в этом интервале, составляющая 540000-713000 при низких потерях на перемагничивание и коэрцитивной силе  $H_c$  порядка 0,66-0,41.

Таблица 5.2 Зависимость физических свойств полученных нанокристаллических магнитопроводов от температуры отжига

Температура отжига, °C	$\mu_{0,08}$	$\mu_{\max}$	B 800	Kп	Hс
522	25000	394000	1,2	0,65	0,9
532	35000	540000	1,21	0,63	0,66
542	52000	713000	1,19	0,63	0,41
552	91000	663000	1,18	0,59	0,45
562	98000	664000	1,19	0,63	0,46
572	120000	688000	1,2	0,61	0,51
582	105000	588000	1,19	0,58	0,56
592	69000	430000	1,2	0,56	0,56
602	61000	237000	1,2	0,59	1,58

## 6 ПРОВЕДЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ

Происходящий при изменении температуры переход веществ из кристаллического состояния в жидкое и обратно представляет собой неизбежную и очень важную стадию множества процессов в природе и технике.

В представленной работе рассматриваются вопросы строения и свойств металлического расплава и влияние на эти его характеристики исходных кристаллических фаз (аналогично, обратный переход от расплава к кристаллическим фазам). Научный интерес к этим вопросам вызван потребностями металлургических и машиностроительных производств, широко представленных, в частности, в Уральском регионе и испытывающих постоянную необходимость в повышении качества и стабилизации служебных свойств своей металлопродукции.

Прежде всего констатируем, что металлические расплавы, как и любые термодинамические системы следует разделить на две группы:

- НЕРАВНОВЕСНЫЕ, временно сохранившие в себе элементы структуры исходных фаз;
- РАВНОВЕСНЫЕ, строение и свойства которых определяются не предысторией, а составом и параметрами состояния.

Те и другие генетически связаны с исходным кристаллическим состоянием. Первые - неравновесными элементами своего строения, вторые - природой межатомных связей и формируемым ближним порядком.

Свободная энергия такой неравновесной системы  $F=U-TS$  превышает ее равновесное значение  $F_{\min}$  вследствие того, что энтропия упорядоченных областей, унаследованных от исходных материалов, оказывается ниже, чем равновесная  $S_{\max}$ . Побуждающим мотивом к изучению этих, с термодинамической точки зрения очевидных состояний служат известные экспериментальные факты:

- зависимость значений свойств расплавленных образцов практически одинакового химического состава от их предыстории (исходных материалов, скоростей и температур нагрева);
- неустойчивость во времени значений свойств таких расплавов;

- несовпадение значений свойств, полученных в ходе нагрева и последующего охлаждения образца.

Процесс релаксации неравновесных состояний, если и протекает, то нередко продолжается часами. Чаще же всего фиксируются МЕТАСТАБИЛЬНЫЕ состояния, из которых система самопроизвольно, без тепловых или механических воздействий, выйти не может. В этом случае наиболее простым средством перевода расплава в равновесие служит дополнительный нагрев до фиксируемой температуры.

Такой пороговый характер перехода системы в равновесие свидетельствует о КИНЕТИЧЕСКОМ, а не диффузионном режиме этого процесса, что подтверждается специальными исследованиями. То есть чаще всего лимитирует не миграция частиц, а их отрыв от неравновесного образования, на что требуется достаточно высокая энергия активации. Отметим, что именно кинетические затруднения при протекании превращений в расплавах являются причиной несовпадений, получаемых (при их изучении) экспериментальных результатов. Условия проведения опытов: скорость изменения температуры, тепловая инерция установки, различия примесного состава и пр. – все это сильно влияет на кинетику процессов разупорядочения и, соответственно, на расположение экспериментальных точек на зависимости «свойство-температура».

Естественно, что каждая многокомпонентная система характеризуется своими собственными неравновесными образованиями, природу которых в каждом конкретном случае еще предстоит раскрыть. Пока лишь ясно, что затвердевание из неравновесных состояний приводит к нестабильности структуры и свойств формирующихся твердых образцов.

Таким образом, благодаря фундаментальным исследованиям свойств и строения металлических расплавов возникло новое прикладное направление: РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИВЕДЕНИЮ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ В СОСТОЯНИЕ РАВНОВЕСИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ [22-26].

Режим выплавки, основанный на изучении закономерностей изменения физико-химических свойств жидких сплавов при нагреве, обеспечивающий формирование однородной структуры расплава, и, соответственно, стабильность улучшенных характеристик твердого металла от плавки к плавке, носит название термовременной обработки - ТВО. Этот режим включает в себя нагрев металла до критических температур, его выдержку в течение определенного времени, охлаждение до температур разливки, выдержку металла вблизи температуры разливки.

На основании изучения комплекса физических свойств промышленных сплавов на основе железа предложен следующий режим подготовки расплава перед аморфизацией: нагрев до температуры 1560 °С, выдержка при этой температуре не менее 10 минут, охлаждение до температуры 1440 °С, выдержка при этой температуре не менее 5 минут с последующим спиннингованием.

На основании изучения интервалов кристаллизации первого пика определены оптимальные температуры отжига аморфных лент: 532-542 °С. Получена максимальная относительная магнитная проницаемость  $\mu_{\max}$  образцов, нагретых в этом интервале, составляющая 540000-713000 при низких потерях на перемагничивание и коэрцитивной силе  $H_c$  порядка 0,66-0,41.

Общий объем финансирования проекта:

всего 7,46 млн. рублей, в том числе на 2009 год – 3,61млн. рублей, 2010 год – 3,85 млн. рублей.

Объем средств федерального бюджета:

всего 5,06 млн. рублей, в том числе на 2009 год – 2,41 млн. рублей, 2010 год – 2,65 млн. рублей.

Объем средств из внебюджетных источников:

Всего - 2,4 млн. рублей, в том числе на 2009 год – 1,2 млн. рублей, 2010 год - 1,2 млн. рублей. Проведенные работы: Опытное и промышленное опробование выплавки аморфизующихся сплавов на основе железа. Опытное опробование режимов термовременной обработки аморфизующихся расплавов на основе железа.

Промышленное опробование режимов получения нанокристаллических магнитопроводов.

В результате проведения опытных плавов получены базовые сплавы на основе железа, используемые для тороидальных магнитопроводов нового поколения с уникальными магнитными характеристиками: начальная магнитная проницаемость которых составляет – 100 000. Максимальная относительная магнитная проницаемость – 700 000. Получено снижение коэрцитивной силы до 0,41 А/м, минимальный вес и гарантийный срок службы не менее 30 лет.

Проведено совершенствование технологических процессов с точки зрения снижения издержек производства, повышения производственной безопасности, включая экологическую, за счет использования новой технологии - термовременной обработки расплава.

Полученные результаты и разработанные методы ориентированы на широкое применение в научно-исследовательских организациях таких, как Институты УрО РАН и фирмах производителях наукоемкой продукции, как НПП «Гаммамет» и достаточно конкурентоспособны на мировом рынке в части технических параметров выпускаемой продукции.

Потенциальные покупатели это промышленные предприятия радиоэлектронных и электротехнических отраслей народного хозяйства. У НПП "Гаммамет" с многими партнерами сложились устойчивые деловые связи. Основными потребителями являются Сибирский регион, Московская область, Украина. Объем продаж в настоящее время составляет сотни тысяч магнитопроводов. Основной конкурент на рынке сбыта - Ашинский металлургический завод г. Аша, Россия. Недостатки выпускаемой ими продукции заключаются в нестабильности служебных характеристик от плавки к плавке и что немаловажно - низкий срок гарантии выпускаемой продукции.

Насыщенность рынка составляет около 40 %, что связано с малым количеством предприятий производителей и большим количеством потребителей. Особенностью потребности выпускаемой продукции - магнитопроводов является их относительно малая потребность при достаточно высокой цене и очень большая

номенклатура изделий, как по исходному химическому составу, определяющему основные служебные характеристики, так и по типоразмерам вследствие, использования в электронных изделиях с широким спектром их применения.

Аналогичная продукция за рубежом по стоимости соизмерима с выпускаемой продукцией, но общая цена резко возрастает из-за транспортных расходов на перевозку изделий.

Цена одного готового магнитопровода типоразмера ГМ 501 – 1кл. ОЛ 40/64-10 на III кв. 2010 года составляет 190 руб. Аналогичный зарубежный образец стоит 7 долларов США.

## 7 ИНДИКАТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

### 1. Обновление парка научного оборудования.

- стоимость закрепленного за УСУ научного оборудования на основании сведений бухгалтерского учета по состоянию на 01.10.2010 г. составляет 10 489 910 рублей.

- в том числе стоимость закупленного научного оборудования на 01.10.2010 составляет 892 800 рублей.

### 2. Количество научных публикаций, подготовленных по результатам исследований с использованием УСУ за последние 3 года и за 2010 год:

- монографии 1 /1;
- статьи во всероссийских изданиях 13 /3;
- статьи в зарубежных изданиях 6 /;
- доклады 23 /6;

### 3. Перечень наиболее значимых публикаций за последние 3 года и за 2010 год.

1. Кинематическая вязкость рельсовой стали, модифицированной сплавами Fe-Si-Ca и Fe-Si-Ca-Ba / А.А. Дерябин, В.С. Цепелев, В.В. Конашков, Е.Ю. Берестов, В.В. Могильный // Изв. Вузов. Черная металлургия.-2008.-С. 1-6.

2. Влияние способов подготовки расплава на уникальные магнитные характеристики наноматериалов / В.С. Цепелев, Б.А. Баум, Г.В. Тягунов, В.В. Вьюхин, В.В. Конашков, А.И. Панкова. Наноструктурные материалы – 2008: Беларусь – Россия – Украина (НАНО – 2008): материалы Первой междунар. науч. конф. Минск: Белорус. наука, 2008.- С. 477.

3. Воздействие на затвердевание непрерывного слитка путем подготовки металлического расплава к кристаллизации / Г.Ю. Стрелецкий, А.А. Смирнов, Г.В. Тягунов, В.С. Цепелев, Б.А. Баум. Сб. тр. конф. Неделя металлов в Москве. М.: - 2008.- С. 252-256.

4. The investigations of the amorphous metal properties in liquid state / V.S. Tsepelev, B.A. Baum, G.V. Tyagunov, V.Y. Belozarov, V.V. Vyukhin and V.V.



Konashkov. 13th International Conference on Liquid and Amorphous Metals. Journal of Physics: Conference Series. Volume 98, 2008.-072020.

5. Свойства металлических расплавов: сборник / В.С. Цепелев, В.В. Конашков, Б.А. Баум, Г.В. Тягунов, Е.Е. Барышев. Ч1. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008.- 358с.

6. Свойства металлических расплавов: сборник / В.С. Цепелев, В.В. Конашков, Б.А. Баум, Г.В. Тягунов, Е.Е. Барышев. Ч2. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008.- 383с.

7. Изучение физических свойств и строения сплавов на основе никеля вблизи фазового перехода кристалл-жидкость / Г.В. Тягунов, В.С. Цепелев, Е.Е. Барышев, Б.А. Баум, В.В. Вьюхин. Региональный конкурс РФФИ «Урал» Свердловская область. Результаты научных работ, полученные за 2007 г. Аннотированные отчеты. Екатеринбург, 2008.- С. 63-65.

8. Влияние термообработки на структуру и механические свойства объемно-аморфизованных сплавов на основе циркония / В.С. Шумихин, А.М. Верховлюк, А.А. Щерецкий, В.С. Цепелев, Г.В. Тягунов // Физика и химия обработки материалов.-2009.-№1.-С. 14-18.

9. Патент № 2349898 С1. Способ бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных металлических расплавов и устройство для его осуществления (варианты) / В.С. Цепелев, В.В. Конашков, В.В. Вьюхин, А.М. Поводатор, 2009.-Бюл. №8.

10. Оптимизация магнитных свойств нанокристаллических магнитопроводов нового поколения / В.С. Цепелев, В.В. Конашков, Г.В. Тягунов, А.И. Подольская, В.Я. Белозеров, Ю.Н. Стародубцев. Тез. докл. Третьей Всероссийской конф. по наноматериалам. Екатеринбург, 2009.- С. 135-136.

11. Патент № 2366925 С1. Способ бесконтактного измерения вязкости металлических расплавов и устройство для его осуществления / В.С. Цепелев, В.В. Конашков, В.В. Вьюхин, А.М. Поводатор, 2009.-Бюл. №25.

12. Nanocrystalline Magnetic Circuit With High Magnetic Permeability / V.Tsepelev, G.Tyagunov, V.Konashkov, A.Podolskaja. Abstracts of European Congress

on Advanced Materials and Processes. EUROMAT 2009, Glasgow, United Kingdom, 2009.- P.68.

13. The Temporary Processing of Melt for Manufacturing Nanocrystalline Soft Magnetic Materials / V. Konashkov, V. Tsepelev, G. Tyagunov, A. Podolskaj. Abstracts of 19th International Conference Soft Magnetic Materials, Torino, Italy, 2009.- P. 47.

14. Оптимизация режимов спиннингования и отжига полученных аморфных лент, с целью получения нанокристаллических материалов с уникальными магнитными свойствами / В.С. Цепелев, В.Я. Белозеров, Ю.Н. Стародубцев, Г.В. Тягунов, В.В. Вьюхин, В.В. Конашков, А.И. Подольская. Сб. тр. V Российск. научн.-техн. конф. «Физические свойства металлов и сплавов». Ч2, Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009.- С. 32-36.

15. Температурно-временная обработка расплавов для производства нанокристаллических магнитомягких материалов / В.В. Конашков, В.С. Цепелев, К.Ю. Шмакова, А.И. Подольская. Сб. тр. V Российск. научн.-техн. конф. «Физические свойства металлов и сплавов». Ч2, Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009.- С. 36-40.

16. Исследование структурообразования расплавов чугунов / А.Г. Панов, В.В. Конашков, В.С. Цепелев, Д.А. Гуртовой, А.Э. Корниенко // Литейщик России, 2010. №3. С. 32-37.

17. Исследование структурообразования расплавов чугунов. Влияние наследственности на свойства отливок из ЧВГ / А.Г. Панов, В.В. Конашков, В.С. Цепелев, Д.А. Гуртовой, А.Э. Корниенко // Литейщик России, 2010. №4. С. 17-20.

18. Патент № 2386948 С2. Способ определения декремента затухания при бесконтактном измерении вязкости высокотемпературных металлических расплавов / А.М. Поводатор, В.В. Конашков, В.В. Вьюхин, В.С. Цепелев, 2010.-Бюл. №11.

19. Тягунов А.Г., Барышев Е.Е., Тягунов Г.В. Исследование взаимосвязи структуры и свойств сплава In 718 в жидком и твердом состояниях / Электрометаллургия, 2010. №5. С.18-20.

20. Влияние обработки расплава на процесс кристаллизации и структуру литейного жаропрочного сплава // Е.Е. Барышев, А.Г. Тягунов, Г.В. Тягунов, Э.В.

Колотухин. Литейные процессы: межрегион. Сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Вып. 9. С 42-49.

21. Подготовка расплава доэвтектического силумина к кристаллизации как фактор формирования литой структуры // Т.К. Костина, И.В. Вандышева, Е.Е. Барышев, Г.В. Тягунов. Литейные процессы: межрегион. Сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Вып. 9. С.58-63.

22. Барышев Е.Е, Тягунов А.Г., Степанова Н.Н. Влияние структуры расплава на свойства жаропрочных никелевых сплавов в твердом состоянии. УрО РАН-Екатеринбург, 2010. 198 с.

23. Патент на полезную модель № 94706. Тигельное устройство / В.В. Вьюхин, В.С. Цепелев, А.М. Поводатор, В.В. Конашков, С.В.Лепихин, 2010.-Бюл. №15.

24. Проблема рисков нанотехнологий для здоровья человека и окружающей среды / В.С. Цепелев, А.И. Подольская, А.В. Арсланова, В.Н. Абасова, И.А. Дряхлова, Т.Г. Пасичник. Система управления экологической безопасностью: сборник трудов Четвертой заочн. междунар. научн.-практ. конф. В 2 т., Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. С. 284-289.

25. The influence of the melt preparation on properties of amorphous solders on copper base / V. S. Tsepelev, V.V. Konashkov, K.Y. Shmakova, G. V. Tyagunov, V. I. Ladyanov and A.I. Podolskaja. Abstracts of XIV Liquid and Amorphous Metals Conference, Rome, Italy, 2010.- P. 123.

26. The temperature-temporal processing of melt for amorphous solders manufacturing / V.V. Konashkov, V. S. Tsepelev, G. V. Tyagunov, A.I. Podolskaja. Abstracts of XIV Liquid and Amorphous Metals Conference, Rome, Italy, 2010.- P. 260.

27. Патент на полезную модель № 96430. Устройство для экспресс-диагностики идентичности транзисторов / А.М. Поводатор, В.С. Цепелев, В.В. Конашков, В.В. Вьюхин, 2010.- Бюл. №21.

28. Патент на полезную модель № 96660. Устройство для изучения кинематической вязкости расплавов / А.М. Поводатор, В.В. Конашков, В.В. Вьюхин, В.С. Цепелев, 2010.- Бюл. №22.

29. От истоков электрометаллургии до нанотехнологий / В.С. Цепелев, В.В. Конашков, А.И. Подольская, В.В. Вьюхин. Современные проблемы электрометаллургии стали: материалы XIV Междунар. конф. / под редакцией В.Е. Рощина.- Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010.- Ч2.- С. 42-46.

30. Получение нанокристаллических магнитопроводов с повышенной магнитной проницаемостью / В.С. Цепелев, В.В. Конашков, А.И. Подольская, В.Я. Белозеров, Ю.Н. Стародубцев. Наноструктурные материалы -2010: Беларусь-Россия-Украина: материалы II Междунар. научн. конф.-Киев, 2010.-С. 297.

4. Перечни подготовленных и защищенных с использованием научного оборудования УСУ за последние 3 года и за 2010 год:

- дипломных работ

1. Бебенина К.В. Удельное электросопротивление сплавов на основе никеля и кобальта, 2008 г.

2. Подольская А.И. Кинематическая вязкость сплавов на основе кобальта, 2009 г.

3. Анохина Н.Н. Контактное плавление в системе индий – олово, 2009 г.

4. Колесникова К.С. Влияние гомогенизации расплава  $Al\ Cu_{28}Si_6P_{7,1}$  на строение и фазовый состав закристаллизованных образцов, 2010 г.

5. Помыткина Е.Ю. Контактное плавление в доэвтектической металлической системе Sn (In-Ta-Pb), 2010 г.

6. Бородин Д.И. Моделирование связанных автоколебательных систем, 2010 г.

- докторских диссертаций

1. Барышев Е.Е. Исследование и разработка технологических процессов повышения качества металлопродукции на основе анализа взаимосвязи жидкого и твердого металлических состояний. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Екатеринбург-2007 г.

- кандидатских диссертаций

1. Смирнов В.Л. Совершенствование состава и технологии модифицирования Al-сплавов на основе систем Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg-Cu, Al-Li. Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург – 2009 г.

2. Голоднов А.И. Влияние вибрации на формирование кристаллической структуры меди и Cu сплавы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург – 2010 г.

5. Количество привлеченных для выполнения научных исследований на УСУ: за последние 3 года:

- аспирантов 5;

- студентов 6;

за 2010 год:

- аспирантов 4;

- студентов 5.

6. Количество научных конференций за последние 3 года и за 2010 год, в работе которых приняли участие специалисты УСУ, в том числе международных. 9, в том числе 5 международных. 3, в том числе 3 международных.

7. Признание научной значимости результатов, полученных на УСУ в виде государственных и международных премий, наград выставок и др. за последние 3 года и за 2010 год.

Получено дипломов и благодарностей за участие в различных выставках более 10 шт. за 3 года, 8 шт.- за 2010 год.

8. Разработана методика измерения плотности гамма-проникающим излучением.

Изучена плотность промышленных сплавов на основе железа в диапазоне температур 1400 - 1800 °С.

Модернизирована установка для измерения удельного электросопротивления.

Оптимизированы режимы отжига полученных аморфных лент, с целью получения нанокристаллических материалов с уникальными магнитными свойствами.

Проведена технико-экономическая оценка результатов.

Предоставлены услуги 7 организациям-заказчикам исследований в рамках

центра коллективного пользования.

9. Интернет-сайта: <http://yellowpages.rin.ru>

10. Перечень организаций – заказчиков исследований.

1. Институт металловедения и физики металлов ГНЦ «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина», г. Москва.

2. Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, г. Екатеринбург.

3. Московский вечерний металлургический институт, г. Москва.

4. Государственное учебно-научное учреждение физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

5. ГОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана».

6. Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей».

7. ГОУ ВПО «Томский государственный университет».

Соответствующие совместные научные исследования.

1. Изучение интенсивной пластической деформации аморфных металлических материалов.

2. Изучение процессов адгезии и смачивания высокотемпературных керамик.

3. Отработка термо-временных режимов подготовки расплавов к аморфизации в условиях глубокого вакуума и инертной атмосферы.

4. Поиск и исследование новых наноструктурированных мультиферроионов.

5. Разработка технологии получения тонколистовых конструкционных материалов со стабильной наноразмерной структурой.

6. Разработка теплостойких наномодифицированных полимерных композиционных материалов.

7. Создание многослойных и градиентных термически покрытий в едином технологическом цикле.

11. Перечень зарубежных научных организаций, с которыми за последние 3 года и за 2010 г. осуществлялось научно-техническое сотрудничество в рамках работ, проводимых на установке:

1. Институт металлофизики НАН Украины, г. Киев.
2. Институт проблем литья НАН Украины, г. Киев.
3. Институт физики низких температур НАН Украины, г. Харьков.
4. Государственная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.
5. Университет Бредли, США.
6. Институт физики Словацкой АН, г. Братислава.
7. Университет Нового Южного Уэльса, Австралия.
8. Institute EPFL, Switzerland, Lausanne.
9. Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск.
10. Ариельский университет, Израиль.

Соответствующие совместные научные исследования.

1. Рентгенодифракционное исследование структуры и свойств материалов в жидком и аморфном состояниях.

2. Оптимизация способов производства новых перспективных материалов на основе железа и кобальта.

3. Изучение свойств аморфных лент при низких температурах.

4. Изучение особенностей процесса кристаллизации эвтектических материалов.

5. Исследование структуры и свойств нержавеющей сталей, чугунов и алюминиевых сплавов.

6. Изучение свойств микрокристаллических и нанокристаллических материалов.

7. Изучение физико-химических свойств материалов в жидком состоянии.

8. Создание высоких технологий получения нанокристаллических материалов с высокой относительной магнитной проницаемостью и малыми потерями на перемагничивание.

9. Исследование фундаментальных закономерностей формирования порошковых частиц нанотрубок, объемных наноматериалов различного класса в условиях высокоэнергетических воздействий.

10. Изучение новых видов материалов для создания высокоскоростной сварочной проволоки.

В 2010 году из перечисленных организаций 9 обращений.

12. Суммарное количество исследований (измерений), выполненных с использованием УСУ за последние 3 года и 2010 году, в том числе в интересах сторонних организаций. 26 260 измерений, в том числе 6 150 в интересах сторонних организаций. В 2010 году 9 640 и 1656 соответственно.

13. Объем средств федерального бюджета, выделенных организации по виду расходов «государственная поддержка УСУ»:

- за последние 3 года – 6 405 тыс. руб.

- в 2010 году – 2 650 тыс. руб.

14. Внебюджетные источники: в 2010 году – 1 200 тыс. руб.

15. Перечень оборудования, приобретенного для УСУ за счет средств федерального бюджета, выделенных организации Минпромнауки и Роснаукой за последние 3 года и за 2010 год.

Регистратор напряжения в электрических линиях и сетях, АТК-6-003, Мультиметр АМ-1006, Регистратор отклонения параметров электросетей АТК-70-01, Мультиметр цифровой АМ-1095. Шумомер SVAN 912, весы Sartorius ME414S, анализатор ситовый, насос вакуумный НВР-16Д, счетчик аэронов МАС-01, сосуд Дьюара СК-16, дозиметр ДКЗ-1103, комплект приборов для измерения электромагнитных полей Циклон-05М, печь плавильная УИП-3-440-0,5 ВЛ, цифровой осциллограф АСК-3116, цифровой осциллограф АСК-3117, измеритель МТ-4080D, термометр Center-302, мультиметр АРРА-62Т, мультиметр АРРА-207, тепловизор Pluke Ti-20, металлографический комплекс Альтамимет, блок питания PSM-24, MDS - модуль AI-8TS/D, преобразователь интерфейса I-75, система управления нагревом, установка индукционная плавильная УИП-3-440-0,0005 ВЛ,



пирометр инфракрасный LAND CYCLOPS 55B, программно-аппаратный комплекс SIAMS 700.

За 2010 год – построитель лазерный CONDTROL XLiner Combo, вакуумметр тепловой Мерадат-ВИТ16Т1, силовой тиристорный блок МБТМ1Ф160М1, программный регулятор температуры Термодат-14Е2, оборудование для специального научного комплекса в составе: источник бесперебойного питания APC Back-UPS ES 700 VA, монитор-ЖК-19" Acer V193 HQb Wide 5ms Black, монитор-ЖК 22" Acer V223HQb Wide 5ms FullHD, МФУ PHAZER 3300 MFP, преобразователь АЦП-ЦАП SIGMA USB 16/16, сервер Intel Xeon E5405/8GB RAM/HDDJ Tb, системный блок I NTELCore2Duo(2,5GHz/800MHz)/ RAMП\_4Gb/ HDD-500Gb, модернизация установки для измерения поверхностного натяжения: вакуумметр Мерадат – ВИТ16Т1, регулятор температуры Термодат – 14Е2, силовой блок МБТМ1Ф160М1, нивелир лазерный XLiner COMBO.

16. Структура затрат из средств федерального бюджета на УСУ, выделенных организации по виду расходов «государственная поддержка УСУ» за последние 3 года и в 2010 году на:

- приобретение импортного оборудования – 850 тыс. руб./- 515,8 тыс. руб ;
- приобретение отечественного оборудования – 3 120 тыс. руб./ 377 тыс. руб.;
- модернизацию оборудования – 2 150 тыс. руб. / 260 тыс. руб.;
- ремонт оборудования – 240 тыс. руб. / 90 тыс. руб.

### 5.1 Оказываемые услуги коллективного пользования

Перечень организаций-заказчиков исследований.

1. Институт металловедения и физики металлов ГНЦ «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина», г. Москва. Изучение интенсивной пластической деформации аморфных металлических материалов. Работы проводились в рамках Федеральной целевой программы «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки». Измерены физико-химические свойства аморфных материалов в жидком состоянии. Получены корреляционные зависимости

взаимосвязи жидкого и твердого металлических состояний. Проведено 245 измерений.

2. Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, г. Екатеринбург. Изучение процессов адгезии и смачивания высокотемпературных керамик. Исследовано влияние материала керамик на поверхностные свойства аморфизирующихся расплавов методом «лежащей капли». Проведено 264 измерения.

3. Московский государственный вечерний металлургический институт, г. Москва. Отработка термо-временных режимов подготовки расплавов к аморфизации в условиях глубокого вакуума и инертной атмосферы. В рамках договора о сотрудничестве с лабораторией вакуумного литья предложены режимы термо-временной обработки расплавов. Проведено 243 измерений.

4. Государственное учебно-научное учреждение физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Поиск и исследование новых наноструктурированных мультиферроионов. На установке по изучению удельного электросопротивления исследовано поведение расплавов. Выданы рекомендации по обработке расплава. Проведено 196 измерений.

5. ГОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана». Разработка технологии получения тонколистовых конструкционных материалов со стабильной наноразмерной структурой. Изучено поверхностное натяжение методом лежащей капли. Показаны преимущества термовременной обработки расплава для получения стабильных результатов от плавки к плавке при разработке технологии получения тонколистовых материалов. Проведено 245 измерений.

6. Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей». Разработка теплостойких наномодифицированных полимерных композиционных материалов. Исследованы теплофизические характеристики образцов наномодифицированных полимерных материалов. Показано, что модифицирование приводит к улучшению коэффициента теплопроводности. Проведено 226 измерений.

7. ГОУ ВПО «Томский государственный университет». Создание многослойных и градиентных термически покрытий в едином технологическом цикле. Изучены физические свойства многослойных покрытий. Выданы рекомендации по совершенствованию технологического цикла получения градиентных термически покрытий. Проведено 237 измерений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана методика измерения плотности гамма-проникающим излучением.
2. Изучена плотность промышленных сплавов на основе железа в диапазоне температур 1400 - 1800 °С.
3. Модернизирована установка для измерения удельного электро-сопротивления.
4. Оптимизированы режимы отжига полученных аморфных лент, с целью получения нанокристаллических материалов с уникальными магнитными свойствами.
5. Проведена технико-экономическая оценка результатов.
6. Предоставлены услуги 7 организациям-заказчикам исследований в рамках центра коллективного пользования.

Поставленная цель работы достигнута. Возможности использования методов научных исследований, разработанных и освоенных для уникальной установки «Расплав» полностью реализованы при проведении проблемно-ориентированных поисковых исследований по созданию научно-технического задела по совершенствованию термовременной технологии получения нанокристаллических магнитопроводов. Разработаны методики измерения удельного электро-сопротивления, рентгеноструктурного анализа, кинематической вязкости и плотности гамма-проникающим излучением. Модернизированы установки для измерения поверхностного натяжения, кинематической вязкости и удельного электросопротивления. Развита материально-техническая база путем дооснащения имеющегося специализированного научного комплекса, приобретаемым научным оборудованием для обеспечения и развития исследований в форме коллективного пользования.

Проведены опытные плавки с использованием термовременной обработки расплава. В результате проведения опытных плавок получены базовые сплавы на основе железа, используемые для тороидальных магнитопроводов нового поколения

с уникальными магнитными характеристиками: начальная магнитная проницаемость которых составляет – 100 000. Максимальная относительная магнитная проницаемость – 700 000. Получено снижение коэрцитивной силы до 0,41 А/м, минимальный вес и гарантийный срок службы не менее 30 лет.

Особенностью потребности выпускаемой продукции - магнитопроводов является их относительно малая потребность при достаточно высокой цене и очень большая номенклатура изделий, как по исходному химическому составу, определяющему основные служебные характеристики, так и по типоразмерам вследствие, использования в электронных изделиях с широким спектром их применения.

Аналогичная продукция за рубежом по стоимости соизмерима с выпускаемой продукцией, но общая цена резко возрастает из-за транспортных расходов на перевозку изделий.

Цена одного готового магнитопровода типоразмера ГМ 501 – 1кл. ОЛ 40/64-10 на III кв. 2010 года составляет 190 руб. Аналогичный зарубежный образец стоит 7 долларов США.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 7.32 – 2001 Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.
2. ГОСТ 8.417 - 81 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин.
3. ГОСТ 7.1 - 84 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления.
4. ГОСТ 7.54 – 88 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Представление численных данных о свойствах веществ и материалов в научно-технических документах. Общие требования.
5. ГОСТ 7.12 - 93 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила.
6. ГОСТ 7.9 – 95 (ИСО 214 – 76) Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация. Общие требования.
7. Жидкая сталь / Б.А. Баум, Г.А. Хасин, Г.В.Тягунов, Е.А. Клименков, Ю.А. Базин, Л.В. Коваленко, В.Б. Михайлов, Г.А. Распопова.-М.: Металлургия, 1984. - 208 с., с ил.
8. Равновесные и неравновесные состояния металлических расплавов. Фундаментальные исследования физикохимии металлических расплавов / Б.А. Баум., Г.В. Тягунов, Е.Е. Барышев, В.С. Цепелев.- М.:ИКЦ «Академкнига», 2002. с. 214-228.
9. Плотность и удельное электросопротивление раплавов Sn-Pb в гомогенном и микрорасслоенном состояниях / П.С. Попель, Е.Л. Демина, Е.Л. Архангельский и др. // Изв. АН СССР, Металлы.-1987.-№3.-С. 52-59.

10. Методика абсолютных измерений плотности гамма-методом / Н.С. Косилов, П.С. Попель, В.А. Коновалов и др. // Гамма-метод в металлургическом эксперименте. Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1981.-С. 32-38.
11. Хантадзе Д.В. Расчёт объёма лежащей капли.-ФММ.-1963.-т. 15.-№3.-С. 470-473.
12. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.-М.: Наука, 1976.- 279 с.
13. Кошевник А.Ю., Кусаков М.М., Лубман Н.М. Об измерении поверхностного натяжения жидкостей по размерам лежащей капли.-ЖФХ.-1953.-Т. 27.-№12.-С. 1886-1890.
14. Williams R.K. A study of the electrical resistivity of Zonerefined tungsten at high temperatures.-J. Appl. Phys.-1975.-V. 46.-P. 475-490.
15. Пелецкий В.Э., Тимрот Д.Л., Воскресенский В.Ю. Высокотемпературные исследования тепло- и электропроводности твёрдых тел.- М.: Энергия, 1971.- 192 с.
16. Braunbeck J.B.W. Eine neue Methode elektrdenlose Leitfähigkeits nennung.-Z. fur Phys., 1932.-V. 73.-S. 312-334.
17. Регель А.Р. Измерение электропроводности металлов и сплавов во вращающемся магнитном поле.-ЖТФ.-1948.-Т. 16.-№12.-С. 1511-1520.
18. Регель А.Р. Безэлектродный метод измерения электропроводности и возможности его применения для задач физико-химического анализа.-ЖНХ, 1956.-Т. 1.-№6.-С. 1271-1277.
19. Говорухин Л.В., Фёдоров В.Ф. Влияние формы образца на точность измерений удельного электросопротивления.-В кн.: Физические свойства металлов и сплавов.-Межвуз. сб.- Свердловск, изд. Урал. политехн. ин-та, 1983.- вып. 4.-С. 121- 126.
20. Модернизация высокотемпературного дифференциального термоанализатора ВДТВ-8МЗ / С.В. Лепихин., Е.Е. Барышев, Г.В. Тягунов и др. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2005. - Т. 71. - №4.-С.35-37.

21. Основы производства нанокристаллических и аморфных материалов: учебное пособие / В.Е. Рощин, А.В. Рощин.-Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009.- 168 с.

22. Оптимизация магнитных свойств нанокристаллических магнитопроводов нового поколения / В.С. Цепелев, В.В. Конашков, Г.В. Тягунов, А.И. Подольская, В.Я. Белозеров, Ю.Н. Стародубцев. Тез. докл. Третьей Всероссийской конф. по наноматериалам. Екатеринбург, 2009.- С. 135-136.

23. Исследование структурообразования расплавов чугунов / А.Г. Панов, В.В. Конашков, В.С. Цепелев, Д.А. Гуртовой, А.Э. Корниенко // Литейщик России, 2010. №3. С. 32-37.

24. Патент № 2386948 С2. Способ определения декремента затухания при бесконтактном измерении вязкости высокотемпературных металлических расплавов / А.М. Поводатор, В.В. Конашков, В.В. Вьюхин, В.С. Цепелев, 2010.-Бюл. №11.

25. Патент № 2366925 С1. Способ бесконтактного измерения вязкости металлических расплавов и устройство для его осуществления / В.С. Цепелев, В.В. Конашков, В.В. Вьюхин, А.М. Поводатор, 2009.-Бюл. №25.

26. Получение нанокристаллических магнитопроводов с повышенной магнитной проницаемостью / В.С. Цепелев, В.В. Конашков, А.И. Подольская, В.Я. Белозеров, Ю.Н. Стародубцев. Наноструктурные материалы -2010: Беларусь-Россия-Украина: материалы II Междунар. научн. конф.-Киев, 2010.-С. 297.



## ПРИЛОЖЕНИЯ

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Перечень организаций-заказчиков исследований

1. Институт металловедения и физики металлов ГНЦ «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина», г. Москва.
2. Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, г. Екатеринбург.
3. Московский государственный вечерний металлургический институт, г. Москва.
4. Государственное учебно-научное учреждение физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.
5. ГОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана».
6. Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей».
7. ГОУ ВПО «Томский государственный университет».

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Перечень сертифицированного оборудования

1. Весы аналитические ME414 S включены в Госреестр СИ РФ: № 21464-05.
2. Шумомер-вибромметр SVAN 912AE – сертификат об утверждении средств измерений PL.C.26.002.A № 2511Т до 09.10.2011года.
3. Анализатор ситовый. Выпуск 2009 года. Годичный заводской сертификат качества.
4. Насос вакуумный НВР-16Д. Выпуск 2009 года. Годичный заводской сертификат качества.
5. Сосуд Дьюара СК-16. Выпуск 2009 года. Годичный заводской сертификат качества.
6. Металлографический комплекс Альтамимет исп.1. Выпуск 2009 года. Годичный заводской сертификат качества.
7. Тепловизор Pluke Ti-20. Свидетельство о поверке № 204-2520Т от 18 06. 2009 года. Годичный заводской сертификат качества.
8. Блок питания PSM-24. Выпуск 2009 года. Годичный заводской сертификат качества.
9. MDS - модуль AI-8TS/D. Выпуск 2009 года. Годичный заводской сертификат качества.
10. Преобразователь интерфейса I-75. Выпуск 2009 года. Годичный заводской сертификат качества.
11. Система управления нагревом. Выпуск 2009 года. Годичный заводской сертификат качества.
12. Установка индукционная плавильная УИП-3-440-0,0005 ВЛ. Сертификат соответствия № РОСС RU. ТЧ02.В01390. Выпуск 2009 года. Годичный заводской сертификат качества.
13. Пирометр инфракрасный LAND CYCLOPS 55B. Свидетельство о поверке № 204-3202Т. Действительно до 18. 09. 2010 года.

14. Программно-аппаратный комплекс SIAMS 700. Заводское свидетельство о приемке ТУ 4317-001-12285114-2004 и ГОСТ 12997. Выпуск 2010 год. Годичный заводской сертификат качества.

15. Вакууметр тепловой Мерадат-ВИТ16Т1. Заводское свидетельство о приемке ТУ и ГОСТ 12997. Выпуск 2010 год. Годичный заводской сертификат качества.

16. Силовой тиристорный блок МБТМ1Ф160М1. Заводское свидетельство о приемке ТУ и ГОСТ 12997. Выпуск 2010 год. Годичный заводской сертификат качества.

17. Программный регулятор температуры Термодат-14Е2. Заводское свидетельство о приемке ТУ и ГОСТ 12997. Выпуск 2010 год. Свидетельство о поверке СК 2.320.202 ПС от 10.03.2010 г. Годнo до 10.03. 2012 г.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Перечень аккредитованных лабораторий

1. Установка для измерения плотности жидких металлов гамма-проникающим излучением. Лицензия Федерального надзора по ядерной и радиационной безопасности Госатомнадзора России № УО-06-501-0821 от 12.05.2008 г. дает право на обращение с радиоактивными веществами и их хранение. Срок действия до 18.04.2012 года.

2. Рентгеновская установка для исследования жидких металлов. Лицензия № 66.01.13.002.Л.000105.09.06 от 08.09.2006 г. Разрешается деятельность, связанная с использованием источников ионизирующего излучения (генерирующие). Срок действия до 28.08.2011 г.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Перечень аттестованных методик

1. Методика измерения удельного электросопротивления. Описание методики приведено в промежуточном отчете за 1 этап, глава 1.
2. Методика измерения рентгеноструктурного анализа. Описание методики приведено в промежуточном отчете за 2 этап, глава 1.
3. Методика измерения кинематической вязкости с затухающими колебаниями тигля с расплавом. Описание методики приведено в данном отчете за 3 этап, глава 1.
4. Методика измерения поверхностного натяжения. Описание методики приведено в отчете за 3 этап, глава 2.
5. Методика измерения плотности гамма-проникающим излучением. Описание методики приведено в данном отчете за 4 этап, глава 2.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Перечень закупленного оборудования в рамках госконтракта

1. Пирометр инфракрасный LAND CYCLOPS 55B.

2. Программно-аппаратный комплекс SIAMS 700.

3. Оборудование для специального научного комплекса в составе: источник бесперебойного питания APC Back-UPS ES 700 VA, монитор-ЖК-19" Acer V193 HQb Wide 5ms Black, монитор-ЖК 22" Acer V223HQb Wide 5ms FullHD, МФУ PHAZER 3300 MFP, преобразователь АЦП-ЦАП SIGMA USB 16/16, сервер Intel Xeon E5405/8GB RAM/HDD 1 Tb, системный блок I NTELCore2Duo (2,5GHz /800MHz) / RAMII\_4Gb/HDD-500Gb.

4. Модернизация установки для измерения поверхностного натяжения: вакуумметр Мерадат- ВИТ16Т1, регулятор температуры Термодат-14Е2, силовой блок МБТМ1Ф160М1, нивелир лазерный XLiner COMBO.